

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2002-509222

(P2002-509222A)

(43) 公表日 平成14年3月26日 (2002.3.26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
F 0 3 D 7/04		F 0 3 D 7/04	Z 2 G 0 2 4
G 0 1 H 17/00		G 0 1 H 17/00	A 2 G 0 6 4
G 0 1 M 19/00		G 0 1 M 19/00	A 3 H 0 7 8
G 0 5 D 19/02		G 0 5 D 19/02	D

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-540370(P2000-540370)  
 (86) (22) 出願日 平成11年1月14日 (1999.1.14)  
 (85) 翻訳文提出日 平成12年7月14日 (2000.7.14)  
 (86) 国際出願番号 P C T / D K 9 9 / 0 0 0 2 0  
 (87) 国際公開番号 W O 9 9 / 3 6 6 9 5  
 (87) 国際公開日 平成11年7月22日 (1999.7.22)  
 (31) 優先権主張番号 0 0 4 6 / 9 8  
 (32) 優先日 平成10年1月14日 (1998.1.14)  
 (33) 優先権主張国 デンマーク (D K)

(71) 出願人 ダンコントロール エンジニアリング ア  
 クティーゼルスカブ  
 デンマーク国, デーコー-8450 ハメル,  
 イタリエンスパイ 3  
 (72) 発明者 ガルネェス, スベン  
 デンマーク国, デーコー-5700 スベンボ  
 ルウ, クランベンボルッパイ 3  
 (74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)  
 Fターム(参考) 2G024 AD05 BA15 BA27 CA13 FA04  
 2G064 AA12 AB02 BA02 CC35 CC42  
 3H078 AA02 AA26 BB15 CC03 CC15  
 CC22 CC55 CC63 CC80

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風力タービンの振動を計測して制御する方法

## (57) 【要約】

本発明は風力タービンの振動を計測・制御するための方法に関する。この方法では、電力出力特性に関する現存のセンサ/変換器の信号に基づいて、風力タービンのロータブレードの振動および/または他の構造的振動の存在およびその振幅を決定するのに、スペクトル分析を用いる風力タービン制御システムが適する。風力タービンの制御システムは振動が許容不可レベルに達する前に振動を減衰するのに適し、その後に風力タービンが通常の作動を再開する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 電力幹線に直接接続された風力タービンにおいて振動を計測および制御するための方法であって、電圧および／または電流が幹線接続部において計測され、その他に例えば皮相電力、有効電力、無効電力、力率および $\cos(\phi)$ のような値がそこから導かれる方法であって、

一つ以上の計測値または該計測値から導かれた値のスペクトル分析を行う分析工程と、

該スペクトル分析を基に風力タービンの振動の振幅を決定する決定工程と、

該決定された振動の振幅が予め定められた値を超えているときには、風力タービン制御システムにより行われる対策で振動を減衰させる減衰工程とを具備することを特徴とする計測・制御方法。

【請求項2】 前記スペクトル分析から複数のスペクトルを平均化する工程をさらに具備する請求項1に記載の計測・制御方法。

【請求項3】 上記決定された振幅の振動はロータブレードの振動および／または軸線方向のタワーの振動である請求項1に記載の計測・制御方法。

【請求項4】 前記減衰工程はロータの回転速度を遅くさせる工程を具備する請求項1～3のいずれか一つに記載の計測・制御方法。

【請求項5】 前記減衰工程は停止するまでブレーキをかけて停止後に再始動する工程を具備する請求項4に記載の計測・制御方法。

【請求項6】 前記減衰工程は振動の振幅が予め定められた値より小さくなるまでブレーキをかける工程を具備する請求項4に記載の計測・制御方法。

【請求項7】 前記減衰工程は動的負荷を低減させる工程を具備する請求項1～3のいずれか一つに記載の計測・制御方法。

【請求項8】 前記風力タービンはピッチ角が固定された失速制御型の風力タービンであって、前記減衰工程は振動の振幅が予め定められた値以下に減衰するまで前記風力タービンに振れ角の誤差を与えて、該振れ角に誤差がない状態で該風力タービンが通常の作動を再開する工程を具備する請求項7に記載の計測・制御方法。

【請求項9】 前記風力タービンはピッチ角が可変である積極失速制御型の

風力タービンであって、前記減衰工程は振動の振幅が予め定められた値以下に減衰するまでブレードのピッチ角を負の方向に変化させて、正確な要求されたピッチ角度で該風力タービンが通常の作動を再開する工程を具備する請求項7に記載の計測・制御方法。

【請求項10】 前記減衰工程は振動の振幅が予め定められた値以下に減衰するまでさらに風力タービンに振れ角の誤差を与えて、振れ角に誤差がない状態で該風力タービンが通常の作動を再開する工程を具備する請求項9に記載の計測・制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

本発明は電力幹線に直接接続される風力タービンの振動を計測して制御する方法に関する。この方法では、電圧および／または電流は電力幹線接続部で計測され、その他に例えば皮相電力、有効電力、無効電力、力率および $\cos(\phi)$ のような値が付加的にこの計測値から導かれる。

## 【0002】

風力タービンの発展に伴い、タービンはますます大きくなり、ハブの高さは高くなり、ロータの直径も長くなっている。このことは、使用される構造体の固有共鳴振動数や減衰性が相応じて低くなることによって引き起こされる、複数の機械的な難点を作り出している。

## 【0003】

さらに、一般に使用される或るロータブレードには、或る気象条件において振幅が大きく且つ複雑なパターンの振動をロータブレードに起こしてしまう傾向が見られる。このことにより、ロータブレードには不要な動的負荷がかかり、よってロータブレードの寿命が縮まり且つ風力タービンの安全性が侵されてしまう。

## 【0004】

風力タービンの構造的な安全性、そして人間の安全性を得るためには、風力タービンのロータブレードの振動と風力タービンのこれとは別の構造上の振動との両方を検知することと、例えば風力タービンを一時的に停止することによって、またはこれとは別の方法によって振動をなくすことが必要不可欠である。

## 【0005】

一般に、明らかに容易に振動現象を起こしてしまう気象条件下で風力タービンを停止させることは、風力タービンの年間出力に損失を招くので実用向きの解決法ではない。したがって、起こった如何なる振動現象をもなくすために、振動現象の有無を検知して、風力タービンの制御手段を調整することができ、そして振動現象が収まったら風力タービンが通常の作動を再開することができることが望まれている。

## 【0006】

全ての風力タービンには激しい振動を検知し、風力タービン緊急停止回路と相互に作用して風力タービンを停止させることができる装置が設けられる。しかしながら、例えばブレードの先端が欠けてしまうことにより突然ロータのバランスが悪くなった場合や、電撃（落雷）によりロータが構造的な損傷を受けた場合に風力タービンが確実に停止するように、上記装置を予め設計しなければならない。また、この従来の装置では、ロータブレードの振動またはタワーの振動が風力タービンを危険寸前にする程の振幅に達するまで、これら振動を検知することができない。さらに、ロータブレードに振動が起こった場合、一つのブレードの振動現象が有害な振幅に達したときでさえも、概して三つのロータブレードのうち二つのブレードが逆位相であるような振動を具備する現象であれば、例えば風力タービンのナセル (nacell) において計測されるような震動レベルはあまり大きくない。したがって、このような装置はこのような有害な状況を検知するのに適していない。

【0007】

さらに、この従来の装置では概して、この装置が風力タービンの緊急停止回路の一部として組み込まれているので、振動が収まってから風力タービンに通常の作動を再開させることができない。

【0008】

最後に、風力タービンに組み込まれる独立した震動ガードが知られている。これら震動ガードは、震動ガードの命令でタービンを停止することができる許容限界内でロータブレードの動的負荷が維持されることができるよう、例えば振幅の大きくない振動の存在を検知することができる。しかしながら、これら独立したユニットも、通常、風力タービンの緊急停止回路に組み込まれているので、振動が収まっても風力タービンに通常の作動をさせることができない。

【0009】

風力タービンを承認できるようにするために、外部の装置に依存しない風力タービン制御システムにより、振幅が大きくなっても振動現象の検知およびその対策が行われることが望まれている。

【0010】

本発明の目的は、現存の計測信号を基に風力タービンの振動の存在を検知するための方法、および風力タービン制御装置を用いてこれら振動を減衰させる方法を提供することにある。

【0011】

上記目的は最初に記載した種類の方法により達成される。この方法では、一つ以上の計測された値またはこの値から導かれた値のスペクトル分析が行われて、このスペクトル分析の結果を基に風力タービンの振動の振幅が決定され、この決定された振幅が或る値を超えていたときには、振動の振幅を小さくするために風力タービン制御システムによって対策がとられる。

【0012】

こうすることで、震動または振動により風力タービンで生じた電気計測値、またはこの計測値から導かれた値に変化が起こることを利用することにより、風力タービン内に外部装置を組み込むことなく小さい震動または振動でさえも検知できるようになり、さらに検知した結果を使用して、風力タービン制御装置を用いてこの検知された震動または振動を小さくすることができるようになる。

【0013】

特許請求の範囲の従属項は本発明の方法の適切な実施例を定義する。特に、従属項4～10は風力タービンに設けられた特定のタイプの制御システムにおいて、検知された振動の振幅を小さくするための打消し方法を定義する。

【0014】

以下、図面を参照して本発明をさらに説明する。

【0015】

風力タービン制御システムは常にタービンの幹線接続部において多くの計測を実行するのに適する。計測は一方では操業上の理由で、また他方では風力タービンの操業に関するデータロギングや統計上の理由で実行される。このために、風力タービン制御システムには幹線接続部の段階における電圧および電力を計測するために複数の変換器が設けられる。これら電圧および電流の一時的な計測値を基に、制御システムは、例えば皮相電力、有効電力、無効電力、力率および $\cos(\phi)$ のような更なる二次的な幹線データを計算する。

## 【0016】

ロータブレードの振動は風力タービンのナセルおよびロータシャフトの震動をまねく。三つのロータブレードのうち二つのロータブレードで逆位相の振動が起こった場合、震動をナセルで計測できる。このことは関連のある振動の振幅により引き起こされた非対称性（非線形弾性）に起因する。したがって、ロータシャフトのトルクはロータの振動により生成せしめられた成分も具備することになる。

## 【0017】

ロータブレードの振動はロータシャフトのトルクに或る成分を発生させるので、このような成分は発電器のシャフトのトルクに、および幹線に直接接続された発電器を備えた風力タービンにも現れる。したがって、このような成分は電流および／または電圧の一時的な計測値、およびこの一時的な計測値から導かれた二次的な幹線データにも現れる。

## 【0018】

本発明によれば、風力タービン制御システムはこれら一つ以上のデータの組のスペクトル分析と、複数のスペクトルの平均化とを実行する。したがって、振動現象により発生せしめられる発電器シャフトのトルクの変動は一本の縦棒、または図1に示したような振動の固有振動数 $f$ 。付近の狭い帯域の複数の縦棒としてスペクトルに現れる。スペクトルの縦棒の高さからロータブレードの振動の振幅が制御システムに指示され、この高さが風力タービンの運転状態を決定する基準となる。

## 【0019】

軸線方向のタワーの振動、すなわち主要シャフトの長手方向の振動により、風の見掛けの速度の変動、よってロータおよび発電器シャフトのトルクの変動が生じる。ロータブレードの振動のように、このような変動は一時的な計測データにおいておよび一時的な計測データにより導かれる二次的な計測データにおいて検知される。スペクトル分析により、変動は図1に示したように、固有振動数 $f$ 。における縦棒、または狭い帯域の複数の縦棒としてスペクトルに現れる。縦棒の高さは軸線方向のタワーの振動の振幅を示し、この高さが風力タービンの運転状

態を決定する基準となる。

【0020】

風力タービンの種類およびその装備に応じて、本発明の制御システムは様々な方法で作動する。第一の種類の対策ではロータの回転速度を変えることにより振動現象を減衰させようとし、第二の種類の対策では風力タービンにかかる動的負荷を変えることにより振動現象を変化させようとしている。

【0021】

幹線に直接接続された風力タービンでは、第一の種類の対策においてブレーキが用いられる。停止するまでブレーキを使用するか否かは、使用されるブレーキシステムの特性に依る。或るタイプのチップブレーキではロータが停止した時のみリセットされ、このタイプのブレーキが使用されると、ロータは再始動する前に停止させられてしまう。しかしながら、チップブレーキを回転中にリセットすることができれば、制御システムは振動が減衰したことを検知すると風力タービンを”回転中に”再始動することができる。

【0022】

しかし、機械式ブレーキを使用することにより第一の種類の対策をとることが可能になるが、このようなブレーキを使用するとブレーキが容認しがたい摩耗を起こしてしまうことが知られている。風力タービンに電気制御ブレーキ（遅延装置）が設けられると、この電気制御ブレーキは常に”回転中に”再始動することができるように制御において有利に使用される。最後に、積極失速（アクティブストール）型の風力タービンでは、ロータブレードの形状は全てブレーキとして使用できるようになっており、本発明の制御システムを備えたこの型の風力タービンでは、”回転中に”再始動することができる。

【0023】

制御システムが動的負荷を変化させることで振動を打消す第二の種類の対策は、ピッチ角が固定された失速制御型の風力タービンにおいて、振動現象が消えるまで振れ角（yaw angle）に誤差を与える制御システムを具備し、そして振れ角の誤差がない状態でタービンは通常の作動を再開する。

【0024】



積極失速型の風力タービンでは、振動現象が消えるまでブレードのピッチ角を負の方向に変化することにより動的負荷を変化させることができ、タービンは正確な要求ピッチで通常の作動を再開する。この型のタービンでは、制御システムは必要であれば振れ角に誤差を与えるのにも使用される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

記録された風力タービンの測定値のスペクトル分析を示す。

【図1】



Figure 1/1

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/DK 99/00020

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 F03D7/04 F03D11/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELD(S) SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 F03D F01D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 435 647 A (HARNER KERMIT I ET AL) 6 March 1984 see abstract see column 1, line 39 - line 45 see column 2, line 27 - line 43	1
A	US 4 160 170 A (HARNER KERMIT I ET AL) 3 July 1979 see abstract see column 6, line 51 - line 57; figure 2	1
A	US 5 140 856 A (LARSEN ORLA W) 25 August 1992 see column 8, line 65 - column 9, line 6	1
A	GB 2 096 770 A (STANDARD TELEPHONES CABLES LTD) 20 October 1982 see abstract	1
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search  20 May 1999		Date of mailing of the international search report  04/06/1999
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tr. 31 851 ext. 4 Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Criado Jimenez, F

Form PCT/ISA210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/DK 99/00020

## C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 614 676 A (DUTT WILLIAM R ET AL) 25 March 1997 see abstract; figures -----	1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

...formation on patent family members

Inter national Application No

PCT/DK 99/00020

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4435647 A	06-03-1984	AU 552913 B	26-06-1986
		BR 8301456 A	29-11-1983
		CA 1186393 A	30-04-1985
		DE 3308564 A	13-10-1983
		DK 136683 A	03-10-1983
		FI 831031 A	03-10-1983
		FR 2524570 A	07-10-1983
		GB 2117934 A, B	19-10-1983
		IN 158266 A	11-10-1986
		JP 58178885 A	19-10-1983
		NL 8301059 A	01-11-1983
		SE 8301552 A	03-10-1983
		ZA 8301632 A	30-11-1983
US 4160170 A	03-07-1979	CA 1120537 A	23-03-1982
		DE 2922972 A	03-01-1980
		DK 243579 A	16-12-1979
		FR 2428749 A	11-01-1980
		GB 2023237 A, B	28-12-1979
		SE 444599 B	21-04-1986
		SE 7905005 A	16-12-1979
US 5140856 A	25-08-1992	AU 9121791 A	25-06-1992
		WO 9209871 A	11-06-1992
GB 2096770 A	20-10-1982	SE 8202319 A	15-10-1982
US 5614676 A	25-03-1997	AU 1516197 A	11-09-1997
		BR 9701140 A	22-09-1998
		CA 2176992 A	09-09-1997
		CZ 9700692 A	14-01-1998
		EP 0794420 A	10-09-1997
		HU 9700559 A	29-12-1997
		JP 10010015 A	16-01-1998
		PL 318751 A	15-09-1997

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW